

Artículo de Investigación/Research Paper

Caracterización Funcional del Almidón de Fríjol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) y Cuantificación de su Almidón Resistente

Functional Characterization of Bean Zaragoza Starch (*Phaseolus Lunatus L.*) and Quantification of the Resistant Starch

Patricia P. Miranda-Villa¹

Yesid A. Marrugo-Ligardo²

Piedad M. Montero-Castillo³

Fecha de recepción: 28 de julio de 2012

Fecha de aceptación: 06 de mayo de 2013

1 MSc. en Formulación y Tecnología del Producto Programa
Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería
Fundación Universitaria Agraria de Colombia -
UNIAGRARIA, Bogotá - Colombia
miranda.patricia@uniagraria.edu.co

2 MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Programa Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías
Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia
ymarrugol@unicartagena.edu.co

3 MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Programa Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías
Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia
pmonteroc@unicartagena.edu.co

Resumen

Las leguminosas son fuente potencial de almidón, representando entre un 30 y 50% de su peso seco, este constituye una fuente de energía esencial para el hombre. Actualmente su uso se ha extendido en la industria de alimentos como aditivo o materia prima en compuestos alimentarios, debido a sus características nutricionales, funcionales, propiedades como agente espesante y estabilizante de suspensiones y dispersiones. Se evaluaron algunas propiedades funcionales del almidón de frijol zaragoza variedad roja; se obtuvo una temperatura de gelatinización inicial y final de (71°C) y (81°C) respectivamente, la solubilidad fue de 8,3% a 90°C, el poder de hinchamiento alcanzó 6,6% a 80°C, y la capacidad de retención de agua estuvo en 4,4% a 80°C. La viscosidad aparente fue evaluada entre 20 y 75°C dando como resultados viscosidades entre 1,096 y 0,98 Cp respectivamente. Los resultados mostraron que las temperaturas ensayadas inciden significativamente en la solubilidad, poder de hinchamiento, capacidad de retención de agua y viscosidad del almidón. El contenido de amilosa y amilopectina fue de 21,1% y 78,19%. Finalmente, se obtuvo 9,24% de almidón resistente, y se comparó con otras fuentes convencionales no amiláceas, con miras a adquirir nuevos conocimientos acerca de este material nativo de la costa Caribe colombiana.

Palabras clave

Propiedad funcional, amilosa, amilopectina, gelatinización.

Abstract

Legumes are a potential source of starch, representing between 30 and 50% of its dry weight, this is an essential energy source for humans. Currently its use is widespread in the food industry as an additive or raw material in food compounds, due to its nutritional, functional properties as a thickening agent and stabilizer of suspensions and dispersions. We evaluated several functional properties of starch variety zaragoza red bean, was obtained initial gelatinization temperature and final (71°C) (81°C) respectively, the solubility was 8.3% at 90°C, swelling power was 6.6% at 80°C, and water retention capacity was 4.4% at 80°C. The apparent viscosity was evaluated between 20 and 75 °C giving as results viscosities between 1.096 and 0.98 Cp respectively. The results showed that the tested temperatures significantly affect the solubility, swelling power, water holding capacity and viscosity of the starch. The amylose and amylopectin content was 21.1% and 78.19%. Finally, was obtained 9.24% resistant starch and compared with other conventional non starchy sources in order to acquire new knowledge about this material native to the Colombian Caribbean coast.

Keywords

Functional properties, amylose, amylopectin, gelatinization.

1. INTRODUCCIÓN

El frijol zaragoza (*Phaseolus Lunatus L.*) denominado también frijol lima o sencillamente zaragoza en la costa Caribe colombiana (Ballesteros *et al.*, 2000), es una leguminosa de grano que tiene fuerte incidencia en la cultura popular alimentaria de sus pobladores. Actualmente en Colombia las regiones productoras más importantes son Antioquia, Santander, Nariño y Huila; su principal uso es como grano para alimentación humana (Acero & Joaquín, 2000).

Los carbohidratos constituyen la fracción principal en los granos de las leguminosas, los más importantes son el almidón, la fibra dietaria y en pequeñas cantidades los oligosacáridos (Bravo *et al.*, 1998). El almidón es el principal polisacárido de almacenamiento de plantas superiores y constituye una fuente de energía esencial para muchos organismos, especialmente el hombre. Las fuentes potenciales más importantes de almidones son los granos de cereales, tubérculos, leguminosas y frutas inmaduras o verdes (Guilbot & Mercier, 1985). En general las leguminosas contienen entre 30 y 50% de su peso seco en almidón y sus porcentajes varían entre una especie y otra.

Los almidones se pueden clasificar según sus características nutricionales en almidón digestibles y almidón resistente (AR). El almidón digestible es aquel que se digiere rápidamente en el intestino delgado; esto se debe a que los gránulos de almidón se han gelatinizado durante la cocción, y son susceptibles de ataque enzimático. El AR es la suma del almidón y sus productos de degradación que no son absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos (Asp & Bjorck, 1992; Ciacco *et al.*, 2001). Posee muchas propiedades como son: el tamaño de partícula (<15 micras), es de color blanco lo que permite su incorporación a una serie de alimentos sin alterar su color y sabor, forman gel, poseen buena capacidad de retención de agua (Sajilinata, *et al.*, 2006) y son digeribles en el intestino grueso degradándose en ácido láctico, succínico y propiónico que favorece el crecimiento de la flora intestinal (Topping & Clifton, 2001); estas propiedades funcionales y nutricionales son de gran atractivo para la industria alimentaria (cuyas aplicaciones son adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de pelí-

culas, estabilizante de espuma, agente antienviejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, texturizante y espesante) (Charley, 2000); e industria farmacéutica y química.

El propósito de esta investigación fue caracterizar algunas propiedades funcionales del almidón de frijol zaragoza (*Phaseolus Lunatus*) variedad roja, vegetal nativo de la costa Caribe colombiana y cuantificar su almidón resistente, compararlos con otras fuentes no convencionales amiláceas con miras a adquirir nuevos conocimientos acerca del mismo y sugerir su posible uso en la industria alimentaria.

2. METODOLOGÍA

Las semillas de *P. Lunatus* variedad roja fueron adquirida en el Municipio de Turbana (Cartagena-Colombia), las cuales fueron secadas, seleccionadas y empacadas en bolsas estériles y trasladadas al laboratorio de análisis de alimentos de la Universidad de Cartagena.

2.1 Extracción de almidón

Se utilizó 100 gramos de semilla de *P. Lunatus*, que fueron remojadas por 12 horas, descascarilladas y molidas en un molino para granos marca Corona; la masa obtenida se dejó en remojo por 1 hora y se filtró con una tela de 80 micras de malla. El sólido fibroso se lavó con 200 ml de agua destilada; el filtrado se dejó sedimentar durante 4 horas, luego se separó el líquido sobrenadante junto a una capa oscura con un alto contenido de proteína. El almidón fue lavado 3 veces y centrifugado a 2500 rpm durante 10 minutos en una centrifuga Jouan B3.11. El almidón obtenido se secó artificialmente en bandejas de aluminio en un secador por 8 horas a 45°C (Betancur *et al.*, 2003).

2.2 Amilosa y amilopectina

Se pesó 80 mg de almidón en un tubo, al que se añadió 10 mL de solución urea-dimetilsufóxido DMSO, con agitación constante,

se secó a 100°C por 1 hora. De la muestra fría se tomó 0.5 mL de la solución y se tomó el peso de la solución, adicionando 5 mL de etanol al 99.5%, posteriormente fue centrifugado a 2000 rpm por 30 minutos y descartado el sobrenadante. Al residuo se adicionó 1 mL de la solución de urea-DMSO. Los tubos fueron colocados en una estufa a 100°C entre 15 a 30 minutos, con 25 mL de agua destilada, y 1 mL de I2/IK por 15 minutos; por último se hizo la lectura de la absorbancia a 635 nm en un espectrofotómetro UV-1700 Shimadzu, para el cálculo del contenido de amilosa total (Morrison & Laignelet, 1983). La amilopectina se calculó por diferencia al 100%. Los resultados obtenidos fueron comparados con la medición de almidón de calibrado (Almidón soluble Merck), en cuanto a la concentración y la absorbancia.

2.3 Gelatinización

La temperatura inicial de gelatinización fue determinada según Cañizares *et al.*, 1993. Se prepararon 31 muestras con 2 mL de suspensión de almidón al 0,5% (base seca) en tubos de ensayo de 5mL, las cuales fueron evaluadas desde 50°C de temperatura hasta 81°C con incremento de $\pm 1^\circ\text{C}$ y se adicionó como sustancia indicadora una solución saturada de yodo.

2.4 Capacidad de retención de agua (CRA), Solubilidad (S) y Poder de hinchamiento (PH)

40 mL de una suspensión de almidón al 1% (p/v) se preparó en un tubo de centrifuga de 50 mL previamente tarado, la suspensión se agitó constantemente y se mantuvo a una temperatura constante (60, 70, 80 y 90 °C) en un baño de agua durante 30 minutos. Fue centrifugada a 2500 rpm durante 15 minutos en un equipo marca Jouan B3.11, se decantó el sobrenadante y se pesaron los gránulos hinchados. Del sobrenadante se tomó 10 mL y secó a 120°C durante 4 horas en un crisol a peso constante (Schoch, 1964; Sathe & Salunkhe, 1981), los cálculos se realizaron como se muestran en (1) y (2). La capacidad de retención de agua se midió con las mismas condiciones que en el método anterior, excepto que se expresó

como el peso del gel formado por muestra, dividida por el peso de la muestra tratada utilizando (3) (Anderson *et al.*, 1969).

$$\% S = \frac{\text{Peso almidón soluble} \times 400}{\text{Peso muestra (b.s.)}} \quad (1)$$

$$PH = \frac{\text{Peso sedimento}}{\text{Peso muestra (b.s.)} \times (100 - \%S)} * 100 \quad (2)$$

$$CRA = \frac{\text{Peso gel (gr)}}{\text{Peso muestra (gr)}} \quad (3)$$

2.5 Viscosidad aparente

Se preparó una suspensión de almidón al 2,5% en base seca, se homogenizó y se evaluó de 20 a 75°C con un incremento de $\pm 5^\circ\text{C}$ en un viscosímetro rotacional Stormer thomas scientific, con cilindro móvil y plancha de calentamiento. La velocidad de cizalla fue 100 rpm (Smith, 1964).

2.6 Cuantificación de almidón resistente

100 mg de muestra de harina integral de *P. Lunatus* fueron incubadas a 40°C por 60 min y pH 1,5 con pepsina (Sigma P-7012); luego a 37°C por 16h y pH 6,9 con α -amilasa (Sigma A-3176); los residuos fueron tratados con 2M de KOH e incubados a 60°C por 45min y pH 4,75 con amiloglucosidasa (Sigma A-7255). La glucosa libre fue determinado utilizando glucosa oxidasa-peroxidasa y ensayo ABTS como lo describe Bergmeyer y Bernet, 1974. El AR fue calculado como mg de glucosa X 0,9. Como lo indica Goñi *et al.*, 1996. Los resultados fueron mostrados como el promedio de dos replicas y expresados como porcentaje de almidón resistente por 100 gramos de muestra en base seca.

2.7 Procesamiento de datos

En la investigación, se manejó un diseño experimental totalmente aleatorio. Las determinaciones se efectuaron por triplicado y los resultados fueron expresados como la media \pm la desviación

estándar. Se utilizó el programa estadístico GraphPad InStat 3.06. Para el análisis de los datos se aplicó análisis de varianza mediante la prueba de tukey y nivel de significancia $< 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se aisló y purificó el 15% de almidón con respecto al peso seco de la semilla de frijol, el cual fue menor en comparación con las semillas de grano de *Okenia hypogaea* con 75% (Corzo *et al.*, 2006), frijol común 38% (Tovar *et al.*, 2005), frijol negro 36,3%, frijol peruano 48,8% (Vargas *et al.*, 2006) y los de *Mucuna pruriens* con 82% (Corzo *et al.*, 2006). El bajo rendimiento en almidón de la semilla pudo ser por el método de extracción y el equipo utilizado en la molienda, ya que quedaron granos de mayor tamaño y el residuo se lavó muchas veces para separar la delgada capa oscura del líquido sobrenadante lo que pudo ocasionar pérdidas, además por el traslado de las muestras en los tubos de ensayo para su posterior centrifugado.

El porcentaje de amilosa del almidón de *Phaseolus lunatus* L. fue de 21,81% y de amilopectina 78,19% (relación 0,28 amilosa/amilopectina aproximadamente). Entra en la clasificación de almidón normal, con contenido de amilosa entre 17 y 24% y gelatiniza a temperaturas superiores de 70°C (Morrison, 1988). Este contenido de amilosa es menor en comparación al de semillas de *P. lunatus* en México con 32,6% (Betancur *et al.*, 2003), y en semillas de garbanzo (48,1%) y guisantes (52,6%) (Czuchajowska *et al.*, 2003); estas variaciones posiblemente se dan de acuerdo a la zona donde se cultivan las semillas, las condiciones de almacenamiento y los tratamientos previos en la extracción del almidón.

Cabe destacar que el contenido de amilosa del gránulo de almidón es determinante en las propiedades funcionales (viscosidad, capacidad de retención de agua, solubilidad, poder de hinchamiento y gelatinización) que desarrolle y es un excelente material para modificar la textura de los alimentos. En este sentido, el almidón de frijol zaragoza tuvo una solubilidad y capacidad de retención de agua a los 60°C (2,03% y 2,8%) respectivamente, valores inferiores (2,60-3,70 % y 4,6-4,8%) a los reportados por Alvis *et al.*, (2008)

para almidón de yuca con contenidos de amilosa entre 14,2 % - 14,6%, menores a los hallados en este estudio. Al comparar las propiedades funcionales del almidón de frijol Zaragoza, con los resultados obtenidos por *Alvis et al.*, (2008), para el almidón de ñame con un contenido superior de amilosa (25%-27%), se observa que la solubilidad y capacidad de retención de agua fueron menores (1,25% y 2,3%) respectivamente.

El almidón de frijol zaragoza presentó una solubilidad significativamente ($P<0,05$) mayor a 90°C, con un porcentaje de 8,3% (ver Tabla 1), esto es debido al tamaño y homogeneidad del mismo que intervienen en la gelatinización y por tanto en su alta solubilidad y al alto contenido de amilopectina (78,19%) presente en el gránulo de almidón; coincidiendo con los resultados obtenidos para frijol Zaragoza, por *Chel y Betancur* (2006), en donde la solubilidad se desarrolló mejor a temperaturas más altas (90°C). Investigadores plantearon la posibilidad de que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón, facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución. Esto desde luego, incide en el aumento de solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad (*Hwang & Kokini*, 1992).

Tabla 1. Valores promedios solubilidad (S), poder de hinchamiento (PH) y capacidad de retención de agua (CRA) de almidón de *P. Lunatus*. Fuente: Autores

Propiedad	Temperatura			
	60°C	70°C	80°C	90°C
S	2,03 ^d ± 0,05	6,03 ^b ± 0,05	5,70 ^c ± 0,10	8,30 ^a ± 0,100
PH	2,80 ^d ± 0,100	3,23 ^c ± 0,05	6,60 ^a ± 0,10	4,40 ^b ± 0,17
CRA	2,80 ^d ± 0,10	3,33 ^c ± 0,11	4,43 ^a ± 0,05	4,00 ^b ± 0,0

Por el contrario la capacidad de absorción de agua y el poder de hinchamiento fueron significativamente ($P<0,05$) mayores a 80°C y hubo una disminución progresiva de estas propiedades a los 90°C; comportamiento este atípico para un almidón, puesto que la absorción de agua, la solubilidad y el poder de hinchamiento se correlacionan de manera directa con el incremento de la temperatura a que fueron procesados los almidones.

El poder de hinchamiento y la capacidad de retención de agua indicaron que a temperaturas menores de 70°C, los gránulos se resistieron al hinchamiento y la absorción de agua fue menor. Entre 70 y 80°C, los gránulos se hincharon gradualmente, siendo mayor a 80°C (6,6% y 4,4% respectivamente) como resultado de la ruptura de los puentes de hidrógenos intermoleculares de las zonas amorfas, que permiten una absorción irreversible y progresiva de agua (Rao & Tattiyakul, 1999). Swinkels, (1985) y Gujska *et al.*, (1994) indican la misma respuesta para almidones de frijol pinto y frijol navy, describiendo un rápido incremento en el hinchamiento a partir de los 70°C. Puede considerarse que el poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Chel & Betancur, 2006).

Por otro lado, al iniciar la gelatinización (76°C), las muestras de almidón cambiaron de un color amarillo oscuro a azul verdoso, color que se mantuvo hasta alcanzar la temperatura final de gelatinización (80°C). Lo anterior demuestra que cuando los gránulos fueron calentados en agua a temperaturas altas, se alcanzó el punto donde los gránulos se hincharon y perdieron su orden estructural, lo cual es debido a la fusión de los cristales (birrefringencia) y su consecuente expansión (gelatinización), llevando a un aumento de la viscosidad de la muestra. Resultados similares fueron reportados por Pérez *et al.*, (2006) en el almidón de *P. lunatus* en México con 75,2 - 87,6°C respectivamente, frijol lima variedad grande con 70 - 80°C respectivamente y *Glicine max* con 73-81°C respectivamente (Hoover *et al.*, 1991). Por el contrario los rango de temperatura del *P. lunatus* de este estudio, fueron mayores en comparación con los reportados por Swinkels (1985) en almidón de maíz (62-73°C), papa (56-67°C), trigo (58-64°C) y arroz (68-78°C); esto debido al mayor tamaño de los gránulos de almidón de frijol en comparación con los de maíz, papa, trigo, arroz y yuca que permiten la penetración del agua en su interior y por tanto mayores temperaturas para gelatinizar (Gujska, *et al.*, 1994; Sadrach & Oyebiodun, 1999).

La viscosidad aparente (ver Tabla 2) evaluada entre 20 y 75°C y velocidad constante de 100 rpm mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) con valores de 1,108 y 0,981 Centipoise (Cp) respectiva-

mente. Observándose que a medida que aumentó la temperatura disminuyó la viscosidad del almidón de frijol zaragoza, esto debido a la velocidad de corte aplicada que rompió los gránulos hinchados y aumentó su dilución. A temperaturas superiores a 70°C la viscosidad continuó disminuyendo debido a la fragilidad de los gránulos que primero se hincharon y después se rompieron bajo condiciones continuas de mezclado; situaciones similares fueron mostradas en almidones de amaranto, maíz y trigo (Uriyapongson & Rayas-Duarte, 1994).

Tabla 2. Valores promedios de viscosidad del almidón de *P.Lunatus*.
Fuente: Autores

Viscosidad en centipoises					
20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C
1,108 ^a ±00	1,096 ^b ±00	1,086 ^c ±00	1,076 ^d ±00	1,062 ^e ±00	1,052 ^f ±00
50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C
1,040 ^g ±00	1,030 ^h ±00	1,020 ⁱ ±00	1,016 ^j ±00	0,994 ^k ±00	0,981 ^l ±00

Pruebas realizadas por triplicado (se reporta la media ± la DS). Medias con diferentes superíndices en una misma fila difieren significativamente (P<0,05)

El contenido de almidón resistente del frijol zaragoza fue de 9,24%, contenido menor que los mostrados en semillas de *P. Lunatus* en México 23,95% (Jiménez & Corona, 2006) y en semillas de *P. Vulgaris* con 13% de AR. En comparación con otras legumbres amiláceas no convencionales como guisantes (2,45%), garbanzos (3,39%), arvejas (7,2%), lentejas (3,25%) (Almeida *et al.*, 2006), frijol de la especie *Vicia faba* (4,8%) (Silva *et al.*, 2007) y frijol de la especie *P. Vulgaris* en diferentes variedades (2,43% flor de mayo; 6,4% mayocoba; 4,0% negro y 5,41% peruano) (Vargas *et al.*, 2006); el porcentaje de AR del grano en estudio (*P. Lunatus*) fue mayor.

El almidón del frijol estudiado representa una fuente importante de AR de tipo I, (Tovar *et al.*, 1992). Este tipo de almidón presenta una resistencia a la hidrólisis enzimática, pero cuando se somete a calentamiento en presencia de agua y se produce la gelatinización, la digestibilidad aumenta.

Algunos autores indican que el contenido de almidón resistente de los alimentos depende del porcentaje de amilosa que poseen, ya

que esta es más fácilmente retrogradada que la amilopectina cuando es sometido a varios ciclos de calentamiento y enfriamiento, lo que favorece a los alimentos donde son adicionados porque le proporcionan mayor estabilidad térmica (Englyst *et al*, 1992; Asp, 1992; Bravo *et al*, 1998; Shin *et al*, 2003). Ejemplos reportados por Leeman *et al*, (2006) en almidón de papa, con bajo, medio y alto contenido de amilosa, muestran que el almidón con 1% de amilosa contuvo 0,1% AR; con 23% de amilosa, fue de 5,3% AR, y las muestra con 64% amilosa, presentaron 26% AR.

En este orden de ideas, para el caso de nuestro estudio cuyo contenido de amilosa fue de 21,81% presentó un 9,24% de AR, que posiblemente si se sometiera a varios ciclos de calentamiento y enfriamiento, se incrementaría el porcentaje de AR, lo cual sería de gran utilidad y aprovechamiento en la industria alimentaria por los diversos beneficios que aporta a la salud. Así mismo, asociado al contenido de amilosa, influyen otros factores en los niveles de AR, como por ejemplo el origen botánico, las interacciones con otros componentes del almidón, la estructura de los gránulos de almidón, la presencia de otros componentes o antinutrientes (por ejemplo, el ácido fítico, la linamarina), el procesamiento y las condiciones de almacenamiento (Cairns *et al.*, 1995; Escarpa *et al.*, 1996).

4. CONCLUSIONES

El rendimiento en la extracción del frijol zaragoza fue del 15%, cantidad muy baja con respecto a otras fuentes alternativas. Este bajo rendimiento pudo ser por el método de extracción, debido a que los granos quedaron muy gruesos y el residuo fue lavado muchas veces ocasionando pérdidas, además por el traslado de las muestras en los tubos para centrifugarlas.

Los altos valores en la capacidad de retención de agua y poder de hinchamiento de este tipo de almidón (tipo I) de *P. lunatus*, hacen posible considerarlos en su incorporación a productos cárnicos embutidos, productos de panificación, enlatados, salsas, aderezos, jaleas, caramelos, gomas dulces. Por proporcionarles su textura característica.

La solubilidad del almidón de *P. lunatus* aumentó conforme se incrementó la temperatura, esto fue debido al gran tamaño del gránulo que permitió mejor penetración del agua, asociado a una mayor cantidad de amilosa. De acuerdo a esto si se utiliza este tipo de almidón se tendría una adecuada dispersión del mismo en soluciones acuosas y una mayor captación y retención de agua en las preparaciones alimenticias en que se incorpore.

La viscosidad aparente disminuyó a medida que aumentó la temperatura, este comportamiento es característico de las suspensiones de almidón, donde los gránulos hinchados que son frágiles, primero se hinchan y después se rompen bajo condiciones continuas de mezclado. En todo caso este tipo de almidón se puede usar en preparaciones alimentarias (suspensiones y dispersiones) por las propiedades espesantes y estabilizantes que posee.

Por último, el contenido de almidón resistente del frijol zaragoza fue de 9,24%, porcentaje que lo hace atractivo en la aplicación de alimentos por sus propiedades funcionales (para modificar la textura, apariencia y consistencia de los alimentos) y nutricionales (su digestión en el intestino grueso lo hace un agente prebiótico, lo que se asocia a una buena salud en el colon).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Programa de Ingeniería de Alimentos y Química Farmacéutica, especialmente al grupo de Investigación en Catálisis LICATUC y Proyectos Alimentarios PROAL de la Universidad de Cartagena, Colombia. Igualmente, a Colciencias y al programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores por la financiación de este proyecto.

6. REFERENCIAS

- Acero, P. & Joaquín, J., (2000). *Cultivos (Cereales, Leguminosas y Oleaginosas)*. 1ª edición, 51-52, Editorial UNAD, Bogotá, Colombia.
- Almeida, C.G., Queiroz, M.K., Machado, R.S. & Costa, O.A., (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of

- raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes, *Food Chemistry*, (94), 327–330.
- Alvis, A. Vélez, C. Villada, H. Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*, 19(1), 19-28.
- Anderson, R., Conway, H. F. & Griffin, E. L., (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking, *Cereal Science Today*, (14), 4-12.
- Asp N. & Bjorck I., (1992). Resistant starch, Trends Food Sci, *Technol*, (3), 4-13.
- Ballesteros, G., Torres, A. & barrera, M., (2000). Reincorporación del frijol carauta (*Phaseolus Lunatus*) a la agricultura tradicional en el resguardo indígena de San Andrés de Sotavento, (Córdoba – Colombia). *PGR Newsletter FAO*, (123), 23–27.
- Bergmeyer, H.U. & Bernet, E., (1974). Methods of enzymatic analysis, H.U. Bergmeyer, 2nd Edition, 1205-1212, Editorial Academic Press, New York, USA.
- Betancur A.D., López L.J. & Chel G.L., (2003). Comparison of the chemical composition and functional properties of *Phaseolus lunatus* prime and tailing starches. *Food Chemistry*, (82), 217–225.
- Bravo, L., Siddhuraju, P. & Saura-Calixto, F., (1998). Effect of various processing methods on the in vitro starch digestibility and resistant starch content on Indian pulses. *J. Agric. Food Chem*, (46), 4664-4674.
- Cairns, P., Sun, L., Morris, V.J., & Ring, S.G., (1995); Physicochemical studies using amylase as an in vitro model for resistant starch, *Cereal Science*, 21(1), 37–47.
- Cañizares, H.E., López, P.R., León, A.J., Sánchez, Z.R. & Morales, T.R., (1993). Acetilación del almidón de maíz con ácido acético. Universidad Autónoma de Yucatán, *Revista de la Facultad de Ingeniería química*, (22), 43-47.
- Charley, H., (2000). Tecnología de alimentos: Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Editorial Limusa, Culiacan, México.
- Chel, G. & Betancur, A., (2006). Propiedades fisicoquímicas de almidones de leguminosas tropicales, experiencia de México, En: *Carbohidratos*

- en alimentos regionales Iberoamericanos*, Proyecto Cyted XI.18. 519-547, Editora da Universidad de de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Ciaccio, C.F., Queiroz T.D. & Vieira, M.A., (2001). Almidón resistente. En: *Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud*. 129-142, Varela Editora, São Paulo, Brasil.
- Corzo, R.L., Chel, G.L., & Betancur A.D., (2006). Extracción de las fracciones de almidón y proteína del grano de la leguminosa *Mucuna Pruriens*. *Tecnol. Ciencia*, Ed: (IMIQ), 15(1), 37 – 41.
- Czuchajowska, Z., Otto, T., Paszczynska, B., & Baik, B., (2003). Composition, thermal behavior, and gel texture of prime and tailings starches from garbanzo beans and peas. *Cereal Chemistry*, 75(4), 466–472.
- Englyst, H.N., Kingman, S.M. & Cummings, J.H., (1992). Classification and measurement nutritionally important starch fractions. *Eur. Clin. Nutri.*, (46), 33-50.
- Escarpa, A., González, M.C., Mañas, E., García, D.L., & Saura, C.F., (1996). Resistant starch formation: Standardization of a high-pressure autoclave process. *Agricultural and Food Chemistry*, (44), 924–928.
- Goñi, I., Garcia D.L., Mañas, E. & Saura C.F., (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, (56), 445-449.
- Guilbot, A. & Mercier, C., (1985). Starch. In the polysaccharides, En: *Almidón: definición, estructura y propiedades*, Ed. Usp, 17-20, São Paulo, Brasil.
- Gujska, E., Reinhard, W., Khan, K., (1994). Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches, *J. Food Sci.*, (59), 634-636.
- Hoover, R., Rorke, S. & Martin, A., (1991); Isolation and characterization of lima bean (*Phaseolus Lunatus*) starch. *Food Biochem.*, (15), 117-136.
- Hwang, J. y I. Kokini; (1992). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins, *Carboh. Polym.*, 19(1), 41-50.
- Jiménez, V.R. & Corona, C.A., (2006). Contenido de almidón resistente II en alimentos consumidos en el sureste mexicano, Sensiber IV congreso internacional de evaluación sensorial, 1-8, Tabasco, México.
- Leeman, A. M., Karlsson, M.E., Eliasson, A.C. & Bjorek, M.E., (2006). Resistant starch formation in temperature treated potato starches

- varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydrate Polymers*, (65), 306-313.
- Morrison, W. & Laignelet, B., (1983). An improved procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches, *Cereal Science*, 1, 9-20.
- Morrison, W.R., (1988); Lipids in cereal starches: a review, *Cereal Sci*, (8), 1-15.
- Pérez, N.C., Cruz, E.R., Chel, G.L. & Betancur, A.D., (2006). Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harina de maíz Qpm (*Zea Mays L.*) y frijol lima (*Phaseolus Lunatus*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(2), 145-155.
- Rao & Tattiyakul., (1999). Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. *Carbohydrate Polymers*, (38), 123-132.
- Sadrach, O.A. and Oyebiodun, G.L., (1999). The physico-functional characteristics of starches from cowpea, pigeon pea, and yam bean. *Food Chem*, (65), 460-474.
- Sajilinata, M.G., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R., (2006). Resistant starch-a review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, (5), 1-17.
- Sathe, S.K. & Salunkhe, D.K., (1981). Isolation, partial characterization and modification of the greath northern bean (*Phaseolus vulgaris*) starch. *Food Science*, 46(4), 617-621.
- Schoch, J.T., (1964). Swelling power and solubility of starch granules, In: *Methods in Carbohydrates Chemistry*. Ed. R.L. Whistler, (4), 106-108, Editorial Academic Press, New york, USA.
- Shin, M., Woo, K. & Seib, P.A., (2003). Hot-water solubilities and water sorptions of resistant starches at 25°C. *Cereal Chem*, (80), 564-566.
- Silva, C.L., Osorio, D.P. & Bello, P.L., (2007). Digestibilidad del almidón de haba (*Vicia faba L.*). *Agrociencia*, (41), 845-854.
- Smith, R.L., (1964). Viscosity of starch pastes. In: *Methods in Carbohydrates Chemistry*, Eds. R.L. Whistler, (4), 240-241, Editorial Academic Press, New York, USA.
- Swinkels, J.J., (1985). Sources of starchs, its chemistry and physics, In *Starchs Conversion Technology*, 15-46, Eds. Marcel Dekker Inc., New york, USA.

- Topping, D.L. & Clifton, P.M., (2001). Short-Chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological Reviews*, 81(3), 1031-1064.
- Tovar, J., Fernández, P. M., Blanco, M. A., (2005). Digestibilidad in vitro en preparaciones cocidas y molidas de frijol (*P. vulgaris L.*). *Interciencia*, (30), 780-783.
- Tovar, J., (1992). La biodisponibilidad del almidón en leguminosas procesadas. Importancia de la inaccesibilidad física y la retrogradación del almidón, grado de la tesis de Doctorado, Universidad de Lund, Departamento de Nutrición Aplicada y Química de los Alimentos, Lund, Suecia.
- Uriyapongson, Y. & Rayas-Duarte, P., (1994). Comparison of yield properties of amaranth starches using wet and dry-wet milling processes. *Cereal Chem*, (70), 81-89.
- Vargas, T.A., Osorio, D.P., Agama, A.E., Morales, F.L. & Bello, P.L. (2006). Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*). *Interciencia*, 31(12), 281-284.